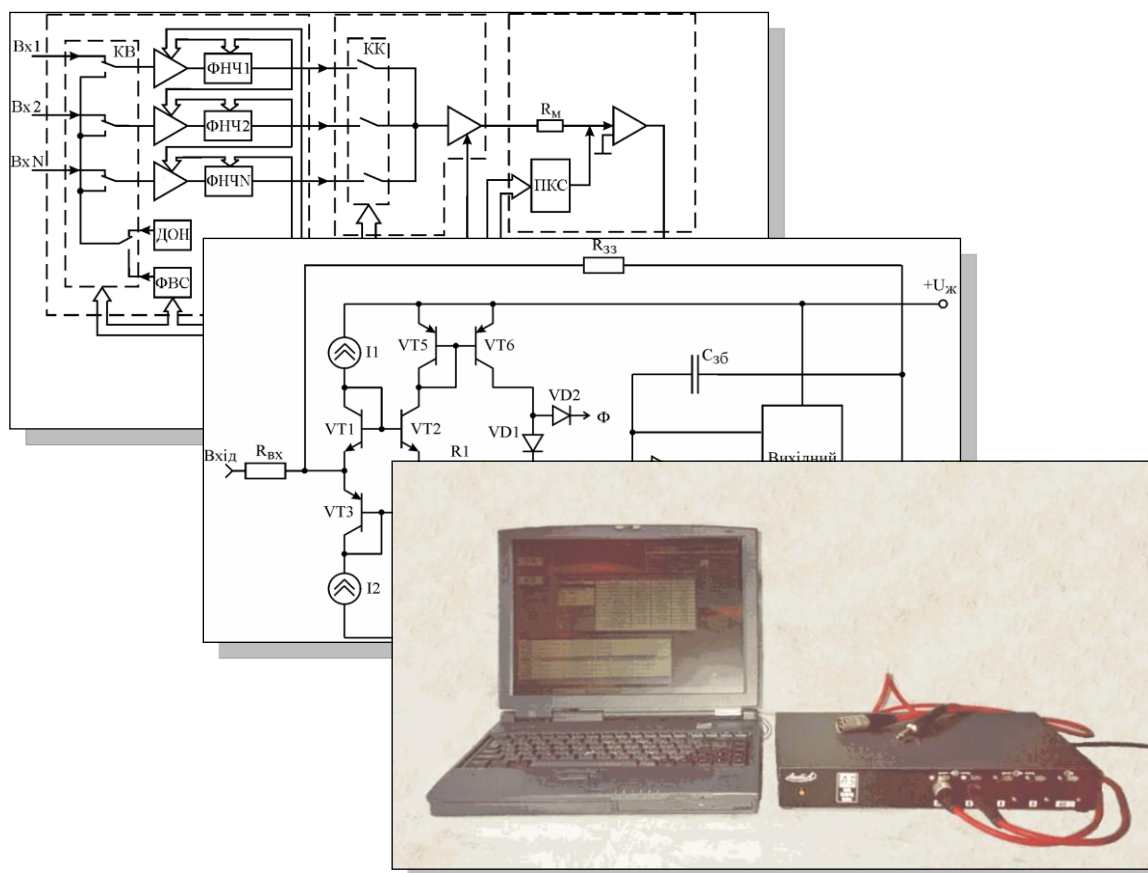


Л. В. Крупельницький, О. Д. Азаров

АНАЛОГО-ЦИФРОВІ ПРИСТРОЇ СИСТЕМ, ЩО САМОКОРИГУЮТЬСЯ, ДЛЯ ВИМІРЮВАНЬ І ОБРОБЛЕННЯ НИЗЬКОЧАСТОТНИХ СИГНАЛІВ



Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

Л. В. Крупельницький, О. Д. Азаров

**АНАЛОГО-ЦИФРОВІ ПРИСТРОЇ
СИСТЕМ, ЩО САМОКОРИГУЮТЬСЯ,
ДЛЯ ВИМІРЮВАНЬ І ОБРОБЛЯННЯ
НИЗЬКОЧАСТОТНИХ СИГНАЛІВ**

Монографія

УНІВЕРСУМ – Вінниця
2005

УДК 621.325; 621.335
К 84

Рецензенти :

доктор технічних наук, професор **В. О. Романов**
доктор технічних наук, професор **Р. Н. Квєтний**

Рекомендовано до видання Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол №8 від 31.03.2005р.)

Крупельницький Л. В., Азаров О. Д.
К 84 **Аналого-цифрові пристрої систем, що самокоригуються, для вимірювань і оброблення низькочастотних сигналів: Монографія. / Під заг. ред. О.Д.Азарова. – Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2005 - 167 с.**

ISBN XXX-XXX-XX-X

У монографії розглянуто теорію і практику розробки аналого-цифрових пристроїв, перетворювачів та вимірювально-інформаційних систем, що самокоригуються. Наведено методологію проектування вхідних пристроїв, дискретизаторів, квантувачів АЦП. Запропоновано метрологічні оцінки статичних та динамічних похибок систем з самокорекцією.

Книгу розраховано на науковців, аспірантів та інженерів, які займаються розробкою високоточних аналого-цифрових пристроїв та систем вимірювання і обробки низькочастотних сигналів.

УДК 621.325; 621.335

ISBN XXX-XXX-XX-X

© Л. Крупельницький, О. Азаров, 2005

Наукове видання

**Крупельницький Леонід Віталійович
Азаров Олексій Дмитрович**

**АНАЛОГО-ЦИФРОВІ ПРИСТРОЇ
СИСТЕМ, ЩО САМОКОРИГУЮТЬСЯ,
ДЛЯ ВИМІРЮВАНЬ І ОБРОБЛЕННЯ
НИЗЬКОЧАСТОТНИХ СИГНАЛІВ**

Монографія

Редактор Т.А.Ягельська

Оригінал-макет підготовлено О. Д. Азаровим

Видавництво ВНТУ «УНІВЕРСУМ – Вінниця»
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001 р.
21021, м.Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВНТУ, ГНК, к.114
Тел.: (0432) 44-05-32

Підписано до друку **XX.XX.XXXX** р. Формат 29.7×42¼
Гарнітура Times New Roman. Папір офсетний
Друк різнографічний. Ум.друк.арк. **X,XX**
Наклад 100 прим. Зам.№ **2005-XXX**

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК № 746 від 25.12.2001
21021, м.Вінниця, Хмельницьке шосе, 95

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ ГАЛУЗЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКО-ТОЧНИХ СИСТЕМНИХ АЦП.....	10
1.1. Аналіз тенденцій розвитку високоточних АЦП і визначення системних вимог до них	10
1.2. Огляд структурних і схемотехнічних вирішень основних типів АЦП із корегуванням похибок	16
1.3. Методи збільшення точності й швидкодії в АЦП на основі надлишкових позиційних систем числення.....	25
2. СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ АНАЛОГОВИХ ПРИСТРОЇВ І МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЦП, ЩО САМОКАЛІБРУЮТЬСЯ.....	34
2.1. Аналогові пристрої в узагальненій структурній схемі АЦП системного застосування, який самокоригується.....	34
2.2. Визначення взаємозв'язків між критеріями ефективності й метрологічними характеристиками АЦП.....	37
2.3. Аналіз статичних і спектральних моделей і похибок вхідного пристрою.....	41
2.4. Аналіз динамічних похибок дискретизатора	51
2.5. Аналіз статичних і динамічних похибок квантувача.....	60
2.6. Систематизація характеристик і параметрів аналогових пристроїв АЦП, що самокоригуються	71
3. ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ВХІДНИХ ПРИСТРОЇВ, ДИСКРЕТИЗАТОРІВ І КВАНТУВАЧІВ САЦП	76
3.1. Особливості схемотехнічної реалізації вимірювальних підсилювачів для САЦП.....	76
3.2. Коригування нелінійності статичної передатної характеристики вимірювального підсилювача.....	82
3.3. Схемотехніка термостатованих джерел опорної напруги.....	87
3.4. Вибір активних фільтрів низьких частот для вхідних пристроїв САЦП	93

3.5. Синтез структур підсилювачів вибирання-збері- гання для пристроїв дискретизації САЦП.....	99
3.6. Розробка прецизійних аналогових комутаторів	116
3.7. Дослідження шляхів зменшення статичних похи- бок пристрою квантування	120
3.8. Збільшення швидкодії пристрою квантування.....	130
4. РЕАЛІЗАЦІЯ САЦП І ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ	138
4.1. Мікропроцесорний вимірювальний АЦП, що самокалібрується.....	138
4.2. Високолінійний швидкодіючий АЦП для систем цифрового оброблення сигналів.....	142
4.3. Вимірювальна система атестації тензоеlementів	147
4.4. Аналізатор параметрів звукових трактів на базі АЦП, що самокалібруються, і ЦАП з'єднаних з ПЕОМ.....	152
ЛІТЕРАТУРА	158

ВСТУП

На темпи науково-технічного прогресу прискорювальний вплив здійснює широке впровадження засобів інформаційно-вимірювальної та електронно-обчислювальної техніки в наукову, виробничу, військову, соціально-побутову й іншу сфери людської діяльності. При цьому відбувається як розширення галузей застосування електронних систем і пристроїв, так і вдосконалювання їхніх показників. Вказані процеси безпосередньо позначаються й на розвитку аналого-цифрових та цифроаналогових перетворювачів (АЦП і ЦАП), які є сполучною ланкою між аналоговими сигналами фізичного світу й цифрових засобів їхнього вимірювання, реєстрації, обробки й відображення.

АЦП і ЦАП є невід'ємною складовою частиною сучасних інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) і багато в чому обумовлюють їхню ефективність. Тому системний підхід до проектування ІВС включає аналіз необхідних характеристик перетворювачів інформації й синтез відповідних структурних, схемних і конструктивних рішень. При використанні АЦП і ЦАП у складі вимірювальних систем виникає необхідність їхнього розгляду не як перетворювачів аналог-код, а як сукупності аналогових і цифрових пристроїв (нормуючих підсилювачів, фільтрів, комутаторів, підсилювачів вибрання-зберігання, джерел опорних величин, схем порівняння, пристроїв керування, інтерфейсних пристроїв і т.д.). Такий підхід дозволяє вичленувати статичні й динамічні складові загальної похибки й оптимізувати весь тракт проходження вимірювального сигналу – від давача до пристрою оброблення. Сказане справедливо як для АЦП, так і для ЦАП, тому що використовувані в них принципи побудови й склад застосовуваних пристроїв аналогічні. Самі ЦАП є складовою частиною ряду типів АЦП. У той же час, питома частка АЦП у складі ІВС, як правило, більше, а вимоги до характеристик і складність їхнього досягнення вище. Зазначене справедливо й для співвідношення аналогових і цифрових пристроїв. Тому в даній роботі основна увага приділяється саме АЦП і їхнім аналоговим пристроям.

Специфікою систем вимірювання й оброблення низькочастотних сигналів є підвищені вимоги до точності застосовуваних АЦП при одночасно високих вимогах до їхньої швидкодії. Це висуває розробку теоретичних і практичних питань побудови таких АЦП на одне з перших місць. Найефективнішим шляхом створення перетворювачів з точністю, що відповідає 16-ти й більше двійковим розрядам, як підтверджує світовий і вітчизняний

досвід, є застосування структурних методів самокалібрування й самокоригування. Одними із представників таких АЦП є розглянуті в даній роботі АЦП, що самокалібруються, на основі надлишкових позиційних систем числення (НПСЧ) з використанням чисел Фібоначчі й "золотої пропорції".

Відомо, що в зазначених АЦП можлива цифрова самокорекція ряду похибок аналогових пристроїв. Однак, комплексного підходу до аналізу й синтезу таких пристроїв вироблено не було. Крім того, у процесі практичної реалізації АЦП, що самокалібруються, був виявлений ряд задач, що вимагають окремих досліджень аналогових пристроїв у частині їхніх метрологічних характеристик, структурних і схемотехнічних рішень, методів коригування. Причому, рамки таких досліджень не обмежуються АЦП на НПСЧ, що самокалібруються, а можуть бути поширені на високоточні АЦП і вимірювальні системи в цілому. Через це, результати досліджень можуть бути використані також при застосуванні сучасних закордонних мікросхем АЦП і ЦАП і при розробці їхніх вітчизняних аналогів. Таким чином, дослідження аналогових пристроїв актуальні для подальшого розвитку наукового напрямку АЦП, що самокорегуються, і для проектування високоточних вимірювальних систем у цілому.

Треба відзначити, що в науково-технічній літературі в ряді випадків має місце недостатньо чітке визначення термінів, що стосуються процедур калібрування деяких характеристик вимірювальних засобів, а також коригування похибок. У зв'язку з цим автори пропонують своє бачення визначення ряду термінів, а саме:

Автокалібрування АЦП, ЦАП і вимірювально-інформаційних систем (ВІС) на їх основі – окрема автоматична процедура визначення відхилень від номінальних (дійсних) значень параметрів окремих пристроїв або вимірювального каналу системи (в цілому) і формування протягом вказаної процедури коригувальних поправок з метою зменшення статичних і динамічних похибок з перериванням при цьому процесу основного перетворення (вимірювання).

Результати **автокалібрування** можуть багатократно використовуватися у процесі основного перетворення або вимірювання аж доти, поки внаслідок змінення параметрів АЦП (ЦАП) або вимірювального каналу не виникне потреба здійснювати нове калібрування.

Самокоригування АЦП (ЦАП) – це є різновид автокалібрування АЦП (ЦАП) на основі НПСЧ, у процесі якого визначаються відносні відхилення ваг старших розрядів шляхом

порівняння ваги поточного розряду, що калібрується, із сумою ваг певної групи сусідніх молодших розрядів на базі існуючих між ними математичних співвідношень без використання спеціальних зразкових мір або еталонних сигналів з подальшим обчисленням коригувальних поправок або коригованих значень „неточних” розрядів. **Самокоригування** здійснюється з метою зменшення похибок диференціальної та інтегральної лінійності статичної передатної характеристики і зменшення нелінійних спотворень змінного сигналу, а її результати можуть багатократно використовуватися у процесі основного перетворення.

Система, що самокоригується – це ВІС (або інша система) до складу якої належить АЦП (ЦАП), що самокоригуються.

ЛІТЕРАТУРА

1. Крупельницький Л.В. Аналоговые устройства самокорректирующихся АЦП для систем измерения и обработки низкочастотных сигналов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.11.13 / – Винниц. политех. ин-т. – Винница, 1994. – 16 с.
2. Азаров О.Д. Основи теорії аналого-цифрового перетворення на основі надлишкових позиційних систем числення. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 260 с.
3. Романов В.А. Теория, методы построения и техническая реализация микропроцессорных преобразователей формы информации с повышенной надежностью и производительностью: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.05 / НАН Украины: Ин-т кибернетики им.В.М.Глушкова. – К.: 1994. – 34 с.
4. Орнатский П. П. Автоматические измерения и приборы (аналоговые и цифровые) – 5-е изд., перераб. и доп.– К.: Вища школа, 1986 г.
5. Высокопроизводительные преобразователи формы информации./ А. И. Кондалев, В. А. Багацкий, В. А. Романов, В. А. Фабричев. – К.: Наукова думка, 1987.
6. Swager A.W. High-resolution A/D converters // EDN.–1989.– vol. 34, №15.
7. Jeffrey Child. High-resolution ADCs gain speed and onchip functions // Computer Design. – 1990. – №1.
8. Гудинаф Ф. Новые области применения аналого-цифровых преобразователей с высоким разрешением // Электроника. – 1991. – №7. – С.39-42
9. Гудинаф Ф. 20-разрядные дельта-сигма АЦП для измерительной аппаратуры // Электроника. – 1991. – №8. – С.23-28
10. Островерхов В.В. Динамические погрешности АЦП. – М.:Энергия, 1975.
11. A 250 KS/S 13-bit pipelined A/D converter/ Sutarja Sehat, Gray Paul R. // IEEE Int. Solid State Circuits Conf. – 1988.– Febr.
12. Курыло Р.Э. Принципы построения высокоразрядных БИС АЦП с экстремальным быстродействием // Проблемы создания преобразователей формы информации. Тез. докл. 6-го Всесоюзного симпозиума. – Киев, 1988. – С.66-67
13. Коул Б. Первый 12-бит параллельный аналого-цифровой преобразователь компании Cristal Semiconductor // Электроника. – 1987. – №25/26.
14. Goodenough F. New high-speed high-resolution ADCs. //

Electronic Design. – 1990. – vol. 38, №17.

15. Walt Kester. High speed sampling and high speed ADC // High speed design techniques/ – Analog Devices Inc. – 1999. – p. 93.

16. Полонников Д.Е. Операционные усилители: Принципы построения, теория, схемотехника. – М.: Энергоатомиздат, 1983.

17. Палмер У. Быстродействующий прецизионный усилитель-преобразователь сопротивлений // Электроника. – 1988. – №6. – С.31-35

18. Исследование путей создания прецизионных ЦАП и АЦП на основе специализированных (полузаказных) БИС на БМК. Отчет о НИР (заключит.) / Винницкий политехнический институт. Рук. Азаров А. Д. – №ГР01890074916. – Винница – 1991.

19. Devis H., Fine R., Regimbal D. Merging Data Converters and DSPs for Mixed-Signal Processors // IEEE Int. Symp. Circuits and Syst. – 1990. – October.

20. Goodenough F. Serial-Output Ic ADCs Span DC to Audio Range // Electronic Design. – 1989. – vol. 27.

21. Ангело А. 16-ти разрядные преобразователи – ключ к построению высококачественных аудиосредств для персональных компьютеров // Электроника. – 1990. – №15. – С.23-24

22. Hurst P., Levinson R. Delta-sigma A/Ds with reduced sensitivity to op AMP noise and gain // IEEE Int. Symp. Circuits and Syst. – 1989. – vol. 1.

23. Мулявка Я. Схемы на операционных усилителях с переключаемыми конденсаторами: Пер. с польск. – М.: Мир, 1992 г.

24. Goodenough F. Dual 18-bit ADC chip grabs 20-kHz audio // Electronic Design. – 1989. – vol. 14.

25. Naylor J., Metzger J. Zwei 18-bit-AD-Umsetzer auf einem Chip // Electronic Industrie. – 1989. – №9.

26. Mosley J.D. Self-calibrating 16-bit A/D converter quarantees no missing codes to 50 kHz // EDN. – 1987. – vol. 32, №2.

27. Попов В.Н. Точные аналого-цифровой и цифроаналоговый преобразователи // Автометрия. – 1982. – №2. – С.56-59

28. Аналого-цифровые периферийные устройства микропроцессорных систем. Р. И. Грушвицкий, А. Х. Мурсаев, В. Б. Смолов – Л.: Энергоатомиздат. Ленинград. отд-ние, 1989.

29. Вьюхин В. Н., Касперович А. Н. Вопросы проектирования аналого-цифровых преобразователей предельной разрядности // Автометрия. – 1985. – №5. – С.15-19

30. Ключан П. С., Лаврентьев В. Н. Автоматическая коррекция в аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователях. – Киев: Изд.

об-ва "Знание" УССР, 1980 г.

31. Гладильщикова М. Л., Елхин О. А. Двадцатиразрядный АЦ-, ЦА-преобразователь с автоматической калибровкой // Техн. Средств связи, серия Радиоизмерительная техника. – М. – 1988. – вып. 4.

32. Стахов А. П. Коды золотой пропорции. – М.: Радио и связь, 1984.

33. Воробьев Н. Н. Числа Фибоначчи – М.: Наука, 1978.

34. Стахов А. П. Введение в алгоритмическую теорию измерений. – М.: Сов.радио, 1972.

35. Стахов А. П. Алгоритмическая теория измерений и основания компьютерной арифметики // Измерения, контроль, автоматизация – 1988. – №2. – С.17-23

36. Помехоустойчивые коды (компьютер Фибоначчи). – М: Знание, 1989. – 64 с.

37. Стахов А. П., Лужецкий В. А. Машинная арифметика ЦВМ в кодах Фибоначчи и "золотой" пропорции. – М.: Предв. публ. АН СССР, 1987.

38. Кодирование в информационных регистрирующих системах. Стахов А. П., Лихтциндер Б. Я., Орлович Ю. П., Сторожук Ю. А. – Киев: 1985.

39. Азаров А. Д. Исследование принципов построения и разработка преобразователей информации на основе кодов с иррациональными основаниями: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Харьков: ХИРЭ, 1980.

40. Моисеев В. Й. Разработка и исследование высокоточных АЦП и ЦАП на основе избыточных измерительных кодов: Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Киев: РИО ИК АН УССР, 1984.

41. Марценюк В. П. Разработка и исследование высокопроизводительных АЦП для прецизионных систем весоизмерения: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Киев: РИО ИК АН УССР, 1985.

42. Стейскал В. Я. Быстродействующие самокорректирующиеся аналого-цифровые преобразователи для высококачественной цифровой магнитной записи: Автореф. дис. канд. техн. наук – Киев: РИО ИК АН УССР, 1988.

43. Boyacigiller Z., Sockolov S. Increase analog system accuracy with a 14-bit monolithic ADC // EDN. – 1982. – August, №18.

44. Семнадцатиразрядный самокорректирующийся АЦП. Азаров А. Д., Моисеев В. И., Марценюк В. П., Стейскал В. Я. // Приборы и системы управления. – 1986. – №1. – С.44-48

45. Высокоточный АЦП, сопряженный с микро-ЭВМ. Стахов А.

П., Азаров А. Д., Моисеев В. И., Марценюк В. П., Стейскал В. Я. // Управляющие системы и машины. – 1985. – №5. – С.23-29

46. Высокоточный самокорректирующийся микропроцессорный преобразователь САЦП-МКЗ. Стахов А. П., Моисеев В. И., Стейскал В. Я., Крупельницкий Л. В., Майстришин В. Я. // Информационный листок №88-006 о научно-техническом достижении. – Винницкий МТЦНТИ, 1988.

47. Стахов А. П., Моисеев В. И., Стейскал В. Я., Лысюк В. В. Высокоточный быстродействующий АЦП поразрядного кодирования // Методы и микрорелектронные средства цифрового преобразования и обработки сигналов. Тез. докл. конф. – Рига, 1990.

48. Стейскал В. Я., Азаров А. Д., Коваленко Е. А. Высокопроизводительный аналого-цифровой преобразователь для измерителей параметров звуковых трактов // Техника средств связи. Техника радиовещательного приема и акустики. – 1989. – вып. 1.

49. А.С.№1304172 СССР, МКИ4 Н00М 1/26. Способ аналого-цифрового преобразования / Стахов А. П., Азаров А. Д., Стейскал В. Я., Моисеев В. И., Марценюк В. П. – Оpubл. 15.04.87, Бюл. №14.

50. А.С.№1388985 СССР, МКИ4 Н00М 1/26. Способ аналого-цифрового преобразования / Стейскал В. Я. – Оpubл. 15.04.88, Бюл. №14.

51. А.С.№1495993 СССР, МКИ Н03М 1/26. Аналого-цифровой преобразователь / Стахов А. П., Моисеев В. И., Стейскал В. Я., Лысюк В. В., Рафалюк А. Е., Васильева Т. Н., Крупельницкий Л. В., Майстришин В. Я. – Оpubл. 23.07.89, Бюл. №27.

52. А.С.№571761, МКИ Н03М 1/46. Аналого-цифровой преобразователь / Стахов А.П., Моисеев В.И., Стейскал В.Я., Крупельницкий Л.В. – Оpubл. 15.06.90, Бюл. №22.

53. А.С.№1591182, МКИ Н03М 1/46. Аналого-цифровой преобразователь / Крупельницкий Л. В., Стейскал В. Я., Азаров А. Д., Моисеев В. И. – Оpubл. 07.09.90, Бюл. №33.

54. А.С.№1534440, МКИ G05F 1/56. Стабилизатор постоянного тока / Азаров А. Д., Стейскал В. Я., Крупельницкий Л. В., Волков В. П. – Оpubл. 07.01.90, Бюл. №1.

55. А.С.№1554128 СССР, Н03К5/24, G 05 В 1/01. Входное устройство схемы сравнения токов. / Азаров А.Д., Стейскал В.Я, Степайко Ю.М., Крупельницкий Л. В. (СССР). – 4 с.

56. Крупельницкий Л. В., Лысюк В. В., Душко О. Г. Термостабильный преобразователь код-ток повышенного быстродействия // Методы и микрорелектронные средства цифрового преобразования и

обработки сигналов. Тез. докл. конф. – Рига, 1990. – С.121-122

57. Рафалюк А. Е., Стейскал В. Я., Крупельницкий Л. В. Высокоточное интеграторное аналоговое запоминающее устройство // Методы и микроэлектронные средства цифрового преобразования и обработки сигналов. Тез. докл. конф. – Рига, 1990. – С.91-92

58. Голубев А. П., Крупельницкий Л. В. Минимизация погрешностей восстановления звуковых сигналов в цифроаналоговом преобразователе // Методы и микроэлектронные средства цифрового преобразования и обработки сигналов. Тез. докл. конф. – Рига, 1990.

59. Майстришин В. Я., Крупельницкий Л. В., Стейскал В. Я. Параллельно-последовательный АЦП на основе избыточных систем счисления // Проблемы и перспективы развития цифровой звуковой техники. Тез. докл. второй Всесоюзной научно-технической конф. – Ленинград, 1990. – С.55-56

60. Крупельницкий Л. В. Аналоговые устройства самокорректирующихся АЦП // Вопросы проектирования и практического использования ПФИ в управляющих и вычислительных комплексах. Тез. докл. республиканской конф. – Одесса, 1990. – С.33-34

61. Крупельницкий Л. В. Коррекция статических и динамических погрешностей аналоговых устройств в самокорректирующихся АЦП // Проблемы создания преобразователей формы информации. Тез. докл. 7-го симпозиума. – Киев, 1992. – С.98-104

62. Чернов В. Г. Устройства ввода-вывода аналоговой информации для цифровых систем сбора и обработки данных. – М.: Машиностроение, 1988 .

63. Смоллов В. Б., Угрюмов Е. П., Шмидт В. К. Микроэлектроэлектронные цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи информации . – Л.: Энергия, 1976.

64. Гитис Э. И. Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств. – М.: Энергия, 1975.

65. Моисеев В. С. Системное проектирование преобразователей информации. – Л.: Машиностроение, 1982.

66. Кузьмин И.В. Оценка эффективности и оптимизация АСКУ. – М.: Сов. радио, 1971.

67. Основы моделирования сложных систем / Под. ред. Кузьмина И.В. – К.: Вища школа, 1981.

68. Саркисян С. А., Ахундов В. М., Минаев Э. С. Большие технические системы. Анализ и прогноз развития. – М.: Наука, 1977.

69. Вострокнутов Н. Н. Цифровые измерительные устройства.

Теория погрешностей, испытания, поверка. – М.: Энергоатомиздат, 1990.

70. Аладьев В. З., Гершгорн Н. А. Вычислительные задачи на персональном компьютере. – К.: Техника, 1991.

71. А.С.№1571761 СССР Н03М 1/46. Аналого-цифровой преобразователь / Стахов А. П., Моисеев В. И., Крупельницкий Л. В. и др. – Оpubл. 15.06.90, Бюл. №22.

72. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986.

73. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. – М.: Мир, 1978.

74. Глухов А. А., Зорин И. Ф., Никонов А. В. Измерение и контроль в трактах звукового вещания. – М.: Радио и связь, 1984.

75. Залманзон Л. А. Преобразования Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях. – М.: Наука, 1989.

76. Боровская Л. И., Ковальчук В. Т. Апертурная погрешность аналого-цифрового преобразования / Техника средств связи. Радиоизмерительная техника. – 1987. – вып. 3.

77. Рафалюк А. Е., Стейскал В. Я., Крупельницкий Л. В. Высокоточное интеграторное запоминающее устройство // Методы и микроэлектронные средства цифрового преобразования и обработки сигналов. Тез. докл. конф. – Рига, 1990. – С.31-32

78. Ципоренко В. Г., Ципоренко Е. Д. Спектральная оценка погрешности аналого-цифрового преобразования сигналов // Радиотехника. – 1990. – №10. – С.26-29

79. Бородатый В. И., Коновалов В. И., Семенюк А. С. Оценивание погрешности измерительных каналов в динамическом режиме // Радиотехника. – №10. – С.19-25

80. Семенов О. Б. Нелинейные искажения при цифровом представлении сигналов // Радиотехника. – 1989. – №2. – С.41-44

81. Орнатский П. П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. – К.: Вища школа, 1976.

82. Азаров А. Д. Проектирование самокорректирующихся преобразователей информации на основе оптимальных избыточных систем счисления // Проблемы создания преобразователей формы информации. Тез. докл. 7-го симпозиума. – Киев, 1992.

83. Майстришин В. Я., Левачкова И. С., Крупельницкий Л. В. Моделирование статических погрешностей 16-разрядного самокорректирующегося АЦП // Вопросы проектирования и практического использования ПФИ в управляющих и вычислительных комплексах. Тез. докл. республиканской конф. –

Одесса, 1990.

84. Крупельницкий Л. В. Автоматизация измерения характеристик самокорректирующихся АЦП и их аналоговых устройств // Тез. конф. – преподавателей и сотрудников ВПИ. – Винница, 1991. – С.77-82

85. Полонников Д. Ю. Операционные усилители. Принципы построения, теория, схемотехника. – М.: Энергоатомиздат, 1983.

86. Достал С. Операционные усилители: Пер.англ. – М.: Мир,1982.

87. Соклоф С. Аналоговые интегральные схемы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988.

88. Крупельницкий Л.В., Голубев А.П., Позняк Д.Ю., Скалозуб В.В. Анализатор параметров звуковых трактов на базе самокорректирующийся АЦП и ЦАП, сопряженных с ПЭВМ // Проблемы создания преобразователей формы информации. Тез. докл. 7-го симпозиума. – Киев, 1992. – С.66-70

89. Бровченко В.Г., Сергеев А.В., Шафиркин В.В. Усилитель – нормализатор для полупроводникового коммутатора // Приборы и техника эксперимента. – 1987.– №4. – С.51-54

90. Splending Isolation//ELRAD,Hannover.– 1991.– Heft 11.

91. Мирский Г.Я. Микропроцессоры в измерительных приборах. – М.: 1984.

92. Зааль Р. Справочник по расчету фильтров: Пер. с нем. – М.: Радио и связь, 1983.

93. Допкин Р.К. Монолитная ИС термостабилизированного опорного источника // Электроника.– 1976.– №19. – С.72-77

94. Азаров А.Д., Стейскал В.Я., Крупельницкий Л.В., Герасимчук В.В. ГИС термоститированного источника опорного // Технология ГИС и вопросы их производства. Тез. докл. Второй Всесоюзной науднотехнической конф. – Ярославль, 1988. – С.33-35

95. Азаров А.Д., Стейскал В.Я., Крупельницкий Л.В., Коваль О.В. ГИС термоститированного источника опорного напряжения для самокорректирующихся ПФИ // Проблемы создания преобразователей формы информации. Тез. докл. 6-го Всесоюзного симпозиума. – Киев, 1988. – С.41-42

96. А.С.№ 1485309 СССР, МКИ G 11 C27/00. Аналоговое запоминающее устройство / Азаров А.Д., Стейскал В.Я., Голубев А.П., Крупельницкий Л.В. – Оубл. 07.06.89., Бюл. №21.

97. А.С.№ 1552231 СССР, МКИ G 11 C27/00. Аналоговое запоминающее устройство / Азаров А.Д., Стейскал В.Я., Голубев

А.П., Крупельницкий Л.В. – Оpubл. 23.03.90., Бюл.№11.

98. Быстродействующий преобразователь код-ток в гибридном исполнении для высокоточных преобразователей формы информации. Стейскал В.Я., Крупельницкий Л.В., Рафалюк А.Е., Лысюк В.В. // Технология ГИС и вопросы их производства. Тез. докл. Второй Всесоюзной научно-технической конф.– Ярославль, 1988. – С.88-95

99. Получение пленок РС магнетронным распылением и их стабилизация. Гриценко С.А., Барановский В.Л., Магдий Е.И. // Технология ГИС и вопросы их производства. Тез. докл. Второй Всесоюзной научно-технической конф. – Ярославль, 1988. – С.12-15

100. Быстродействующие интегральные микросхемы АЦП и ЦАП и измерение их параметров / Под ред. А-И.К. Марцинкявичюса, Э-А.К.Багданскиса. – М.: Радио и связь, 1988.

101. Федорков Б.Г., Телец В.А., Дегтяренко В.П. Микроэлектронные цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи. – М.: Радио и связь, 1984.

102. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. – М.: Мир, 1982.

103. Грешищев Ю.М., Сагайтис В.В., Вонятыцкий А.Ю. Схемотехнические особенности интегральных схем сверхскоростных ЦАП //Проблемы создания преобразователей формы информации. Тез. докл. 6-го Всесоюзного симпозиума. – Киев, 1988. – С.21-22

104. Азаров А.Д., Стейскал В.Я., Степайко Ю.М., Крупельницкий Л.В. ГИС устройства сравнения токов // Технология ГИС и вопросы их производства. Тез. докл. Второй Всесоюзной научно-технической конф. – Ярославль, 1988. – С.31-32

105. А.С.№1529434 СССР, МКИ Н 03 К 5/24. Входное устройство схемы сравнения токов / Азаров А.Д., Стейскал В.Я., Степайко Ю.М., Крупельницкий Л.В.– Оpubл. 15.12.89, Бюл. №46.

106. Стахов А.П., Моисеев В.И., Стейскал В.Я., Крупельницкий Л.В., Майстришин В.Я. САЦП-МКЗ – микропроцессорный аналого-цифровой преобразователь на основе кода "золотой пропорции" // Проблемы создания преобразователей формы информации. Тез. докл. 6-го Всесоюзного симпозиума.– Киев, 1988. – С.45-49

107. Хэррис Ф. Дж. Использование окон при гармоническом анализе методом дискретного преобразования Фурье // ТИИЭР.– 1988. – т. 66, №1.

108. Моисеев В.И., Крупельницкий Л.В., Майстришин В.Я., Левачкова И.С. Измерительный комплекс линеаризации характеристик датчиков на основе самокорректирующегося микропроцессорного АЦП. //Проблемы создания преобразователей

формы информации. Тез. докл. 6-го Всесоюзного симпозиума.– Киев, 1988. – С.55-61

109. Высокоточный измерительный контроллер для работы с датчиками физических величин. Майстришин В.Я., Скалозуб В.В., Стейскал В.Я., Лысюк В.В., Крупельницкий Л.В., Голубев А.П.// Проблемы создания преобразователей формы информации. Тез. докл. 7-го симпозиума. – Киев, 1992. – С.32-37

110. Моисеев В.И., Стейскал В.Я., Крупельницкий Л.В. Блок преобразования формы информации для измерителя параметров звуковых трактов // Проблемы и перспективы развития цифровой звуковой техники. Тез. докл. второй Всесоюзной научно-технической конф. – Ленинград, 1990. – С.70-74

111. Червинчук Н.В., Стейскал В.Я., Крупельницкий Л.В. Автоматизация контроля параметров трактов звукового вещания //Контроль и управление в технических системах. Тез. докл. научно-технической конф. стран СНГ. – Винница, 1992. – С.21-27

112. Коваленко Е.А. Разработка и исследование самокалибрующихся вычислительных АЦП и ЦАП для цифровой обработки аналоговой информации. Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.05 / – Винниц. гос. техн. ун-т. – Винница, 1997. – 16 с.

113. Захарченко С.М. Исследование и разработка самокалибрующихся АЦП с накопителем заряда на основе избыточных позиционных систем счисления. Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.08 / – Винниц. гос. техн. ун-т. – Винница, 1997. – 16 с.

114. Азаров О.Д., Архипчук О.А., Захарченко С.М. Високолінійні порозрядні АЦП з ваговою надлишковістю для систем реєстрації і обробляння сигналів. Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 125 с.